

引用本文:张泽超,程雯,潘庆雯. EDFA 的频率响应测试[J]. 光通信技术,2023,47(5):88-90.

EDFA 的频率响应测试

张泽超,程 雯,潘庆雯

(武汉邮电科学研究院, 武汉 430074)

摘要:掺铒光纤放大器(EDFA)对相同波长、不同频率的信号放大时,因频率响应不同导致信号失真。为了提高通信质量,介绍了一种 EDFA 频率响应测试方法,并编写了一套基于 Python 的数据处理系统。实验结果表明:该测试方法能够完成频率响应测试任务,且能够快速准确地处理数据并实现数据可视化,提高了测试效率。

关键词:掺铒光纤放大器; 频率响应; 数据处理

中图分类号:TN722 文献标志码:A 文章编号:1002-5561(2023)05-0088-03

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2023.05.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Frequency response testing of EDFA

ZHANG Zechao, CHENG Wen, PAN Qingwen

(FiberHome Technologies Group, Wuhan 430074, China)

Abstract: When erbium-doped fiber amplifier (EDFA) amplifies the signal of the same wavelength and different frequency, the signal distortion is caused by the different frequency response. In order to improve the communication quality, an EDFA frequency response test method is introduced, and a data processing system based on Python is written. The experimental results show that this method can complete the frequency response test task, process the data quickly and accurately, realize the data visualization, and improve the test efficiency.

Key words: erbium-doped fiber amplifier, frequency response, data processing

0 引言

随着国家推动的“互联网+”经济的发展和人工智能时代的到来,网络信息技术已经成为了推动国家经济发展的重要手段^[1]。光通信系统具有通信容量大、通信距离长的特点,是现代通信系统的关键组成部分。掺铒光纤放大器(EDFA)能够直接在光域放大光信号,具有成本低、设备简化的优点,同时也消除了传输过程中的“电子瓶颈”^[2]。作为光通信系统中的关键器件,EDFA 的频率响应不同会导致信号失真。为了提高通信质量,本文对 EDFA 的频率响应进行了研究和测试。

1 测试方法与数据处理

1.1 频率响应测试

本文首先使用光 / 电转换器将光信号转换为网络分析仪^[3]可以测量的电信号,然后采用 E5061B 型网络分析仪、8164B 型可调单波光源对待测 L 波段 EDFA 进行频率响应测试。测试的光路图如图 1 所示。其中, EDFA 的调制深度为 10%,测试频率为 10 Hz~10 MHz, EDFA 工作在自动增益控制模式。频率响应测试步骤如下:

1)校准。首先,设置函数发生器以输出稳定的直流信号,网络分析仪内部信号源的频率为点频 1 MHz,

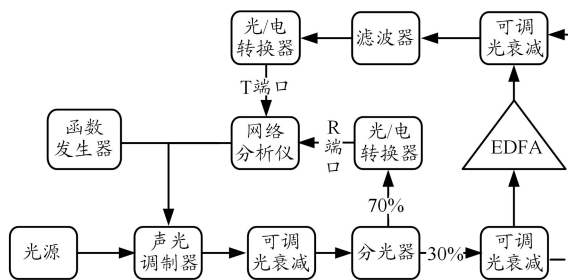


图 1 频率响应测试的光路图

收稿日期:2022-11-02。

作者简介:张泽超(1998—),男,河南濮阳人,武汉邮电科学研究院在读硕士,所学专业为物理电子学,曾参加中科院成都光电所举办的2019年科创计划项目。研究方向为光学测试,主要从事掺铒光纤放大器的性能参数仿真和测试相关工作。



调节 R、T 两端口功率至相等;然后,扫频方式改为对数扫频,并将网络分析仪的对数扫频范围设置为 10 Hz~10 MHz,校准网络分析仪,以使电压增益和相位差都归零。校准的目的是消除 2 条光路之间差异带来的影响,在测试不同波的长入射光时都需要重新进行校准。

2)关闭函数发生器,设置网络分析仪的直流偏置和功率,网络分析仪内部信号源的频率为点频 10 kHz;将入射光接光 / 电转换器后接入示波器,示波器设置为高分辨率模式;观察并调节网络分析仪的功率,使入射光的调制深度满足要求。

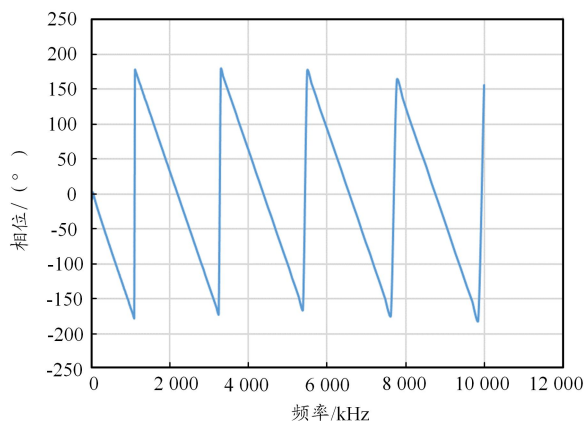
3)将 EDFA 接入光路中,在测量低入射光时,可以将分光器的 30%端接 EDFA 的输入端,70%端接网络分析仪的 R 端口。设置网络分析仪的中心频率为 1 MHz,并设置 EDFA 的入射光、增益等测试条件。通过调节输出端衰减器,使网络分析仪的 T 端口和 R 端口的功率相等。扫频方式选择对数扫频,扫频范围为 10 Hz~10 MHz。网络分析仪输出增益 - 频率和相位 - 频率 2 组测试数据。

1.2 测试数据处理

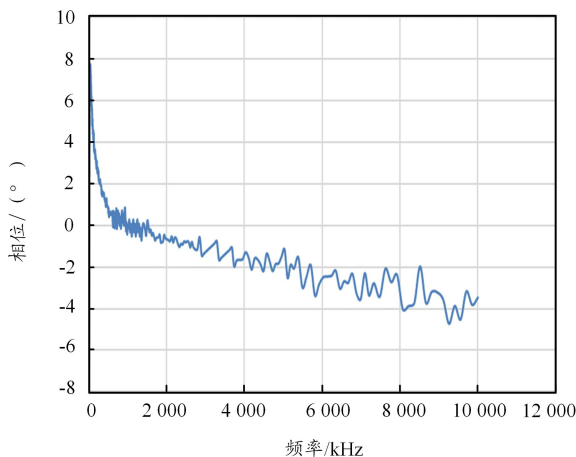
网络分析仪输出的测试数据为 CSV 格式,这些数据并不能直观地反映 EDFA 的频率响应特性,因此需要进行数据处理。本文利用 Python 丰富的库函数编写程序对数据进行批量处理,程序主要包括数据预处理和结果输出 2 个部分。首先,通过 Pandas 库实现 CSV 文件的读取与计算,主要包括数据筛选、取最大值以及滑动平均值等操作;然后,利用正则表达式提取文件名中的入射光、增益等测试条件;最后,通过 Xlsxwriter 库将处理后的数据结果输出为 Excel 并添加对应的折线图。

测试数据包括增益和相位两部分。在增益部分,处理增益数据需要对增益进行归零处理。具体方法为取 1 MHz 附近的 100 个增益数据的平均值,并用所有增益数据减去该平均值。为了滤除一些噪声点并使数据更平滑,还需对数据取滑动窗口平均。在相位部分,由于模块的入射光和出射光存在一个固定的延时,即相移的线性部分(如图 2(a)所示),因此需要去除相移的线性部分,在测量结果中只显示引起相位失真的非线性相移。去除线性相移之后,通过降低比例设置,可使迹线达到极佳的显示分辨率,有效识别相位偏差^[4]。一般选择 1 MHz 频率下的相位 $\Phi_{1\text{ MHz}}$ 用作相位补偿来消除相移的线性部分,其相应的补偿系数 $a = -\Phi_{1\text{ MHz}} / 1\,000\,000$, 设 f 为相位数据对应的频率,则

补偿后的相位为 $\Phi_{1\text{ MHz}} = \Phi + fa$, Φ 指仪器直接测得的相位数据。相位补偿可以将相位滞后 180° 以内的相位调整正确。若相位滞后超过 180° 以后会转变为相位超前 180° , 相位则会出现 360° 的突变,且后续每延时超过一个周期都会突变一次。因此,需要对补偿后的相位除以 360 并四舍五入取整得到延时周期数,再用相位减去延时周期数乘以 360,这样就可以把延时一个周期以上的相位调整正确。经过消除周期影响的数据如图 2(b)所示,能有效识别相位失真情况。最后,对数据取滑动窗口平均,滤除一些噪声点。



(a) 带有线性相移的相位数据



(b) 经过处理后的相位数据

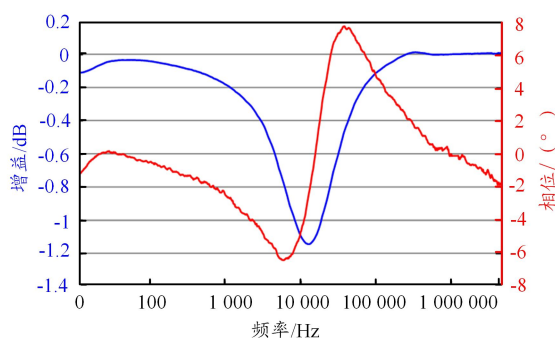
图 2 相位数据的处理过程

2 测试实验结果

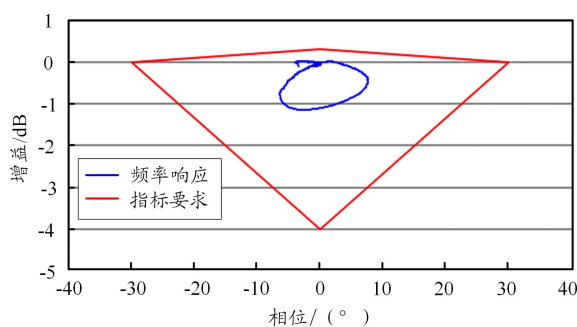
程序输出的部分频率响应测试的结果如表 1 所示。该程序可以标记出超出要求的数据,同时实现数据的可视化。表 1 中编号 1 的频率响应曲线图如图 3(a)所示,可以看出 EDFA 在入射光调制频率为 10 kHz 附近的增益凹陷最大,且在此频率附近的相位由滞后转为超前时出现反转。增益 - 相位曲线图与所给的指

表 1 EDFA 的部分频率响应测试结果

编号	入射光/dBm	增益/dB	波长/nm	增益失真最大值/dB	增益失真最小值/dB	最大超前相位/(°)	最大滞后相位/(°)
1	6.4	15.5	1 572.06	0.015 6	-1.143 8	7.678 3	6.416 5
2	-0.6	22.5	1 572.06	0.070 3	-1.007 4	6.840 5	3.804 8
3	6.4	15.5	1 593.79	0.017 9	-1.151 8	7.818 5	6.175 7
4	-0.6	22.5	1 593.79	0.059 9	-1.042 8	7.537 9	4.142 1
5	6.4	15.5	1 609.19	0.014 4	-1.131 2	7.640 9	6.242 5
6	-0.6	22.5	1 609.19	0.065 4	-1.044 3	7.254 8	3.834 4



(a) 程序输出的频率响应曲线



(b) 程序输出的增益-相位曲线

图 3 测试数据生成的曲线

标要求如图 3(b)所示,可以更直观地观察到不同测试条件下测得的 EDFA 模块参数的变化情况。当频率响应曲线在规定的曲线范围内时,可以认为所测数据是符合要求的,这有助于后续的对比如和判断工作。

3 结束语

本文首先介绍了一种 EDFA 频率响应特性的测试方法,然后对网络分析仪测得的原始数据的处理方法进行了研究,并开发了一套基于 Python 的数据处理系统。通过实际测试数据处理,验证了该程序的正确性和便捷性。

参考文献:

- [1] 杨小龙. 计算机信息技术发展方向及其应用探究[J]. 科技创新与应用, 2022(12):181-184.
- [2] 秦秋霞. 掺铒光纤放大器性能参数测试[J]. 光机电信息, 2009, 26(5):32-35.
- [3] 李洋,陈海康. 网络分析仪测量过程中的误差分析[J]. 铁道技术监督, 2011, 39(1):10-12.
- [4] 吕朋尧. 矢量网络分析仪的线性相位偏差测量应用[J]. 民营科技, 2011(3):27-27.